

Polietilen destekli AA 7075 T651 levhalarda katman sıralamasının balistik dayanıma etkisi

Evren ÖZŞAHİN*, Süleyman TOLUN

İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Uçak-Uzay Mühendisliği Programı, 34469, Ayazağa, İstanbul

Özet

Bu çalışmada, yüksek molekül ağırlıklı polietilen levhalar kullanılarak desteklenmiş AA 7075 T651 levhaların balistik dayanımlarına üç farklı katman sıralamasının etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Alüminyum alaşımlar, düşük yoğunluk, yüksek yapısal mukavemet ve enerji emiş kapasitesi özellikleri açısından, yapısal uygulamalar yanında, hafif korunma sistemlerinde de kullanılmaktadır. 4.00 mm kalınlığındaki AA 7075 T651 levhaların, destek katmanı olmadan belirli mermi hızlarında delindikleri yapılan ön testlerde belirlenmiştir. Bu bilgi kullanılarak, farklı katman sıralamalarının balistik dayanıma etkileri deneysel olarak incelenmiştir. İncelenen ilk grupta, ön katman olarak 8.00 mm kalınlığında polietilen ve destek katmanı olarak 4.00 mm kalınlığında AA 7075 T651 levha, ikinci grupta 2.00 mm kalınlığında iki AA 7075 T651 levha arasında 8.00 mm kalınlığında polietilen levha, son grupta ise ön katman olarak 4.00 mm kalınlığında AA 7075 T651 ve destek katmanı olarak 8.00 mm kalınlığında polietilen levha kullanılmıştır. 2'nci HİBM Komutanlığı bünyesinde bulunan atış poligonunda gerçekleştiren deneylerde, MKEK yapımı 9 mm çapında Parabellum mermiler kullanılmıştır. Tüm atışlar 5 m uzaklıktan ve levhaya dik olarak gerçekleştirilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda, her üç tasarımın da toplam katman kalınlıkları eşit olduğu halde, destek katmanı olarak kullanılan polietilen levhaların, alüminyum levhaların arkalarına yerleştirildikleri seçeneğin, en yüksek balistik dayanıma sahip tasarım olduğu belirlenmiştir. Deneylerde ayrıca, levha kalınlıklarının, yüksek hızlı çarpma sonucunda oluşan hasar biçimlerini yakından etkilediği gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Balistik dayanım, katmanlı zırh, katman sıralaması, yüksek hızlı çarpma.

*Yazışmaların yapılacağı yazar: Evren ÖZŞAHİN. e.ozsahin@hho.edu.tr; Tel: (212) 6632490-4476.

Bu makale, birinci yazar tarafından İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Uçak ve Uzay Mühendisliği Programı'nda tamamlanmış olan "Alüminyum levhaların yüksek hızlı çarpma yükleri altındaki davranışları" adlı doktora tezinden hazırlanmıştır. Makale metni 14.02.2008 tarihinde dergiye ulaşmış, 05.03.2008 tarihinde basım kararı alınmıştır. Makale ile ilgili tartışmalar 31.07.2009 tarihine kadar dergiye gönderilmelidir.

Influence of layer sequencing on ballistic resistance of polyethylene supported AA 7075 T651 plates

Extended abstract

Using armor systems in battle field is a necessity. These protection tools have been gaining more importance day by day since the wars in the ancient times. Human beings throughout recorded history have used various types of materials to protect themselves from injury in combat and other dangerous situations. At first, protective clothing and shields were made from animal skins. As technology became more advanced, wooden shields and then metal shields came into use. Armor systems, particularly those used for the military purpose must be designed as protection against modern weapons. For this reason, ballistic efficiency of the armor subjected to impact load of specific ammunition is under investigation.

Armors designed by using together the ballistic specifications of metal and composite materials used in armor applications provide the desired protection level regarding the weight and ballistic efficiency. Layered structures are generally used in ballistic armor systems. Layered armors basically consist of two main parts: front layer and support layer. Front layers are made from metal or ceramic materials. They aim to deform the nose shape of the projectile and to reduce its ballistic efficiency. Rear or support layers are assigned to absorb the remaining kinetic energy of the projectile. Metal, composite and/or elastomer materials are used in integral armor systems as a support layer.

Armor steels, titanium and aluminum alloy materials are most commonly used armor materials. Hardness values of these materials can be at extremely high levels. Aluminum alloys find their use in many different structures such as offshore platforms, bridge decks, train and ship components, etc. Due to their low density, high structural strength and energy absorption capacity, aluminum alloys are also used in lightweight protection systems. Composites have been commonly used in lightweight armor systems. In addition to various advantages, composites are also preferred due to their high energy absorption capacity. At this point, it must be taken into account that quite a high ballistic performance can be acquired in composite armor structures established by using ultra high molecular weight polyethylene fi-

bers. In many studies, it is found that polyethylene has an ultra high energy absorption capacity as well as its low density.

In this study, influence of layer sequencing was investigated experimentally on ballistic resistance of aluminum plates supported by using high molecular weight polyethylene plates. In experiments, 7075 aluminum alloys of T651 heat treatment were used. Three different types of layer sequencing were examined in the study. It was aimed in the choice of the aluminum alloys used in the tests that effects of the support layer on the ballistic performance of the plates must be investigated distinctively. Focusing on this aim, it was decided that using the aluminum alloys whose ballistic performance is well known without support layer is more convenient. It is known from the previous tests that AA 7075 T651 aluminum plates of 4.00 mm thickness are perforated at 383–400 m/s projectile velocity interval and without the support layer. Using this knowledge, influence of three different types of layer sequencing on ballistic performance of the AA 7075 T651 aluminum plates of 4.00 mm thickness with polyethylene support layer was investigated.

In experiments, MKEK (Mechanical and Chemical Industry Corporation) made FMJ (Full Metal Jacket) Parabellum bullets of 9 mm diameter and 19 mm length were used. The distance between the target plate holder and the shooting system is 5 meters. All shots were normal to target plates. Oehler Research optical ballistic devices were used for the velocity measurements. To test the one plate of 250x250 mm dimensions for four times by separating the plate, a multi shooting fixture was designed, fabricated and used. It was also used to represent the fully clamped boundary conditions. Plate was placed between the two parts of the fixture and bolted at the middle points of four edges.

As a result of the experiments, despite the fact that three of the layer sequencings have the same thickness, it was clearly observed that the best ballistic performance can be obtained by sequencing the aluminum plate as a front layer and the polyethylene support layer at the rear side. Otherwise, it was clearly understood from the test results that plate thicknesses influence the deformation mechanisms due to high velocity impact.

Keywords: Ballistic resistance, layered armor, layer sequencing, high velocity impact.

Giriş

Muharebe sahasının vazgeçilmez unsurlarından birisi olan zırh, kullanım açısından tarihin ilk savaşılarından beri önemini giderek artıran bir savunma aracı olmuştur.

Özellikle askeri amaçlarla kullanılan zırh sistemleri, modern silahlara karşı koruma sağlayabilecek şekilde tasarlanmak zorundadır. İncelenen zırhın belirli mühimmatın çarpmasından kaynaklanan yükler altında işlevini etkin olarak yerine getirip getirmediği, yaygın bir araştırma konusudur (Vural, 2000).

Enerji emiş özelliği geliştirilmiş geleneksel malzemelerin ya da bunlara, gelişmiş üretim teknolojileri ile yeni malzemeler eklenerek oluşturulan tümleşik (entegre) zırh sistemlerinin kullanımı kaçınılmaz bir hal almıştır (Candan vd., 2005).

Koruyucu zırhın alansal yoğunluğu belirli bir değerin altına düştüğünde, aynı tehdide karşı koyabilmek için, yeni ve gelişmiş koruyucu malzemelerin sisteme eklenmesi gerekir (Gama vd., 2001).

Zırh uygulamalarında rastlanan metal ve kompozit malzemelerin balistik olarak ön plana çıkan özelliklerinin birlikte kullanılması ile elde edilen zırh çözümleri, hem ağırlık, hem de balistik yönünden arzu edilen seviyede koruma sağlamaktadır.

Balistik zırhlarda, katmanlı yapılar yaygın olarak kullanılmaktadır. Katmanlı zırhlar, esas olarak ön katman ve destek katmanlarından oluşmaktadır.

Kullanım amacı, asıl taşıyıcı eleman olmasının yanında mermi uç geometrisini balistik etkiyi azaltacak şekilde bozmak olan ön katmanlar, sert metal ya da seramik gibi malzemelerden yapılmaktadır. Metal, kompozit ve/veya elastomer gibi malzemelerden oluşan destek katmanı ya da katmanları ise ön katman tarafından kısmen durdurulan tehdidin kalan enerjisini soğurmaktadır.

Katmanlı yapılarda, destek katmanı olarak kullanılan yapının malzeme özellikleri kadar, oluşturulan zırh konfigürasyonu da balistik performansı etkilemektedir.

Zırh çelikleri, titanyum ve alüminyum alaşımlı malzemeler, kullanılan en yaygın metal zırh malzemeleridir. Bu malzemelerin sertlik değerleri, oldukça yüksek seviyelere kadar çıkmaktadır.

Yüksek performanslı Polietilen, Aramid, Kevlar ve S2 Cam, zırh uygulamalarında kullanılan en önemli ileri kompozit malzemelerdir. Bu malzemelerin tek başlarına kullanılmasıyla, normal çekirdekli tehditlere karşı en hafif çözümleri elde etmek mümkündür. Ayrıca, katmanlı zırhlarda destek katmanı olarak kullanılmaları ile zırh delici mermi tehditlerine karşı da hafif tasarımlar elde edilir.

Tek ve çok katmanlı, yüksek mukavemetli metal ve kompozit levhaların kinetik enerjili mermilere karşı gösterdikleri balistik davranışın deneysel, kuramsal ve sayısal olarak incelenmesi, çeşitli araştırmalara konu olmuştur.

Zukas ve Scheffler (2001), aynı türden çok katmanlı bir yapı ile eşit kalınlıktaki tek bir levhanın çarpma davranışlarını sayısal olarak incelemişler, katmanlı yapının eşit çarpma yüklerine karşı daha düşük bir direnç gösterdiğini ortaya koymuşlardır.

Yossifon ve diğerleri (2002), rijit bir delicinin çok katmanlı bir yapıya çarpmasını, kuramsal ve sayısal olarak incelemiş, analitik bir model geliştirerek sonuçlarını sayısal bulgularla karşılaştırmışlardır.

Park ve diğerleri (2006) balistik çarpmaya maruz kalan katmanlı bir yapının sonlu elemanlar yöntemi ile optimizasyonunda kullanılabilecek unsurları içeren bir çalışma yapmışlardır.

Kim ve diğerleri (2003) kırılğan malzemeler için destek katmanının etkilerini deneysel olarak incelemişlerdir. Özellikle hasar oluşum biçimleri açısından, destek katmanı etkilerini çarpma hızına bağlı olarak ortaya koymuşlardır.

Übeyli ve diğerleri (2004), farklı yapılaraya sahip alümina/alüminyum katmanlı kompozitlerin balistik davranışlarını incelemişlerdir. Test sonuçlarına göre ön katmanda alümina, arka destek katmanda ise alüminyumun kullanılmasının en etkin katmanlama tipi olduğu sonucuna varılmıştır.

Deneysel çalışma

Kullanılacak malzemelerin seçimi

Alüminyum alaşımlar, düşük yoğunluk, yüksek yapısal mukavemet ve enerji emiş kapasitesi özellikleri açısından gemi, bina ve köprü gibi çok çeşitli yapısal uygulamaların yanında, hafif korunma sistemlerinde de kullanılmaktadır.

Çarpma veya yüksek hızlı yükleme şartları, zırh sistemleri ile ilgili uygulama alanlarının önemli bir bölümünü oluşturmaktadır. Bu tip uygulamalarda yapının ağırlığı, önemli bir tasarım ölçütüdür. Bu nedenle, yüksek ağırlığa sahip, geleneksel çelik ya da beton gibi malzemeler yerine, daha hafif olan alüminyum alaşımların sıklıkla tercih edildikleri bilinmektedir.

Balistik çarpmalarda penetrasyon, merminin sahip olduğu kinetik enerji ile doğrudan bağlantılıdır. Bu bakımdan, penetrasyonun ve özel olarak da perforasyonun önlenmesi için, kinetik enerjinin çarpma esnasında soğrularak şekil değiştirme enerjisine dönüştürülmesi esastır.

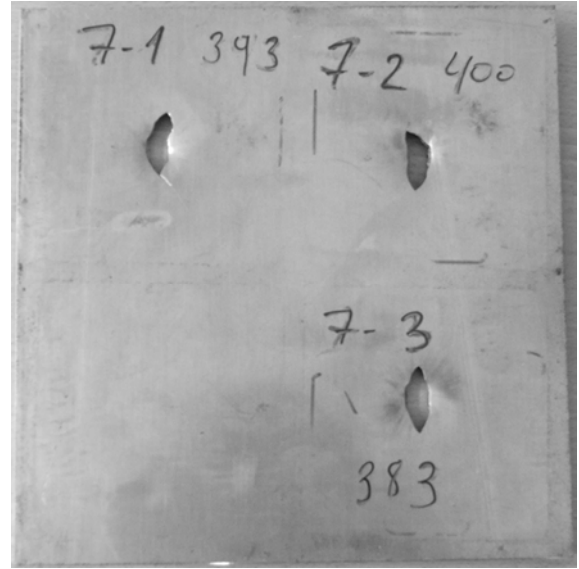
Son yıllarda çok yaygın olarak kullanılan kompozit malzemeler, birçok üstünlüklerinin yanında enerji emiş kapasiteleri yönüyle de ön plana çıkmaktadırlar. Bu konuda, polietilen esaslı elyaf lar kullanılarak oluşturulan kompozit yapılarda, oldukça üstün balistik dayanım ortaya çıkmaktadır. Yapılan çalışmalar, polietilenin düşük yoğunluk özelliğinin yanı sıra çok yüksek bir enerji emiş kapasitesine sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Bu nedenle, zırhın destek katmanı olarak polietilen elyaf lı kompozit malzemeler, üstün enerji emiş davranışları açısından uygun bir seçim olacaktır.

Çalışmada, 250x250 mm ölçülerinde ve 4.00 mm kalınlığındaki 7075 alüminyum alaşımı levhalar, T651 ısıt iş lem kondisyonunda te-

min edilerek kullanılmışlardır. Destek katman olarak kullanılan yüksek molekül ağırlıklı polietilen (PE 1000) levhalar ise yine 250x250 mm ölçülerinde ve 8.00 mm kalınlığındadır.

Atışlarda kullanılan alüminyum levhaların seçiminde, destek katmanı etkisinin belirgin olarak incelenmesi amaçlanmıştır. Bu doğrultuda, destek katmanı olmaksızın sahip olduğu balistik dayanımı bilinen levhaların seçilmesi uygun olacaktır.

4.00 mm kalınlığındaki AA 7075 T651 levhaların, herhangi bir destek katmanı olmadan 383~400 m/s aralığındaki mermi hızlarında delindikleri, yapılan ön testlerde belirlenmiştir (Şekil 1).



Şekil 1. Destek katmansız alüminyum levhaların atış sonrası görüntüsü

Bu bilgi kullanılarak, 4.00 mm kalınlığa sahip AA 7075 T651 levhaların destek katmanı ilave edilerek, farklı katman sıralamalarının balistik dayanımlarına katkısı incelenecektir.

Kullanılan 7075 alaşımının mekanik özellikleri Tablo 1'de görülmektedir.

Yapılan deneyler

Deneyler, 2'nci Hava İkmal Bakım Merkezi Komutanlığı (Kayseri) Atış Poligonunda gerçekleştirilmiştir.

Tablo 1. Atışlarda kullanılan 7075 alüminyum alaşımların mekanik özellikleri

| Yoğunluk (kg/m ³) | Akma Mukavemeti (MPa) | Kopma Mukavemeti (MPa) | Kopma Uzaması (%) | Elastiklik Modülü (GPa) | Poisson Oranı | Özgül Isı (J/g.°C) |
|----------------------------------|-----------------------------|------------------------------|-------------------------|-------------------------------|------------------|-----------------------|
| 2810 | 503 | 572 | 11 | 71.9 | 0.33 | 0.96 |

Atışlarda, 9.00 mm çapında ve 19.00 mm uzunluğunda, FMJ (full metal jacket-tamamen metal kaplı) Makina Kimya Endüstrisi Kurumu (MKEK) yapımı Parabellum mermiler kullanılmıştır.

Bu mermilerin, MKEK tarafından verilen teknik özelliklerine göre ağırlığı 8 ± 0.075 g olup, standart hızları 370 ± 10 m/s'dir. Mermiler, pirinç (CuZn36) malzemeden yüksek ve kurşun anti-mon alaşımı çekirdekten oluşmaktadır.

Atışların yapıldığı poligon, hedef levhaların bağlandığı bir tutucu sehpa ve değiştirilebilen namlusu sayesinde farklı çap ve markalarda mermileri uzaktan elektrikli ateşleme ile atabilen atış sisteminden oluşmaktadır.

Yapılan atışlarda, mermi hızlarının ölçümü için Oehler Research Model 55 hızölçer ile birlikte Model 35P süreölçer kullanılmıştır.

Deneylerde kullanılan 250x250 mm ölçülerindeki levhalara birden fazla atış yapabilmek ve atış bölgesi sınırlarında ankastre mesnet sınır koşullarını oluşturabilmek amacıyla Şekil 2'de görülen çoklu atış fikstürü kullanılmıştır. Atış yapılacak levha, fikstürün iki parçası arasına konarak, kenar orta noktalarından cıvatalanmıştır.

Tüm atışlar 5.00 m uzaklıktan ve levhaya dik olarak gerçekleştirilmiştir.

Daha önceki deneylerde, 9.00 mm Parabellum mermi ile yapılan tüm atışlarda delinmiş olan 4.00 mm kalınlığındaki AA 7075 T651 levhalar, yüksek molekül ağırlıklı polietilen (PE 1000) levhalarla desteklenerek teste tabi tutulmuştur. Levhaların toplam kalınlıkları sabit kalmak üzere, üç farklı katmanlı tasarım denenmiş ve aralarındaki davranış farkları incelenmiştir.



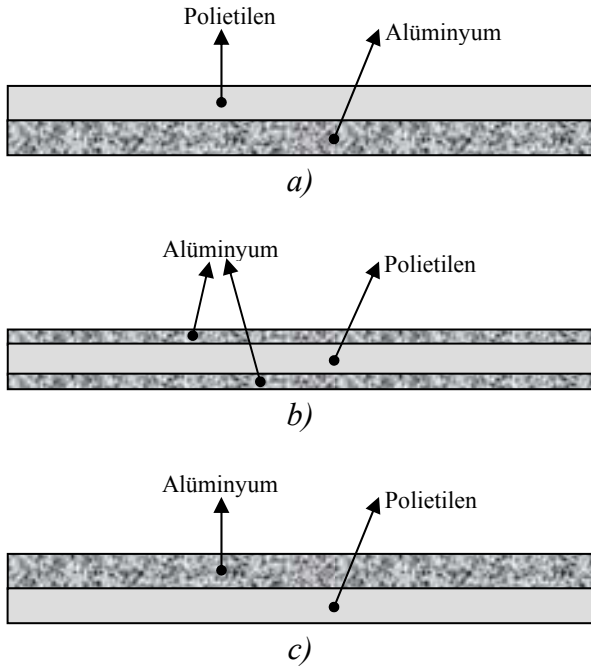
Şekil 2. Çoklu atış fikstürü

İncelenen tasarımların ilk grubunda, polietilen destek katmanı, çarpma yönünde alüminyum levhaların önüne yerleştirilmiştir (Şekil 3.a).

İkinci grupta, yapıdaki toplam alüminyum kalınlığı sabit olacak şekilde, 2.00 mm kalınlığında iki alüminyum levha arasına polietilen katman eklenmiştir (Şekil 3.b). Bu tasarımda, balistik dayanımının yüksek olduğu bilinen AA 7075 T651 alaşımların kademeli olarak kullanılmalarının etkisi incelenmiştir.

Son tasarım grubunda ise polietilen destek katmanı, alüminyum levhaların arkasına yerleştirilmiştir. Böylece, alüminyum levha tarafından kinetik enerjisi azaltılan ve delicilik özelliği düşürülen mermilerin, polietilen destek katmanı tarafından durdurulması amaçlanmıştır (Şekil 3.c).

İlk yapıda, çarpma yönüne göre öne polietilen, arkaya ise AA 7075 T651 levhalar yerleştirilmiştir.



Şekil 3. a) PE-Al katmanlı yapı, b) Al-PE-Al katmanlı yapı, c) Al-PE katmanlı yapı

İlk grupta yapılan atışlarda, çarpmanın etkisi ile polietilen levhalar tamamen delinmişlerdir. Arka katman olarak kullanılan alüminyum levhalarda ise çarpma noktalarında kopmalara rastlanmıştır. Levhaların kırılkan yapısı nedeniyle çarpma noktası ve çevresinde oluşan kayma gerilmeleri, mermi boyutlarından daha büyük parçaların levhadan kopması neticesinde delinmeye neden olmaktadır.

Bu atışlarda, 401 m/s ve 402 m/s mermi hızlarında her iki katmanda da delinme gerçekleşmiştir.

379 m/s ve 393 m/s mermi hızlarının ölçüldüğü atışlarda ise, mermiler alüminyum levha içinde durmuşlar, ancak arka yüzeyde çok geniş çatlak ve kırılmalar gözlenmiştir (Şekil 4).

Bu haliyle, incelenen tasarımın neden olduğu balistik dayanımın artışının oldukça kısıtlı olduğu değerlendirilmektedir.

Takip eden atışlarda, yapının toplam kalınlığını değiştirmeyecek şekilde, 2.00 mm kalınlığında iki adet alüminyum levha arasına 8.00 mm kalınlığında polietilen levha konarak atışlar yapılmıştır.

Bu grupta yapılan iki atışta, 398 ve 400 m/s mermi hızları ölçülmüş, her iki atışta da levhaların tümünde delinme tespit edilmiştir (Şekil 5).

Kullanılan alüminyum levhaların diğerlerinden ince olması, hasar biçimlerinde de belirgin farklılıklara neden olmaktadır. Önceki atışlarda kırılma ve kopmalar şeklinde gelişen hasar, ince levhalarda yırtılma şeklindedir. Ön yüzde meydana gelen delikler, mermi boyutlarına yakındır. Arka yüzeyde ise merminin levhayı terk ettiği bölümde yapraklanma (petalling) şeklinde bir hasar oluşumu gözlenmektedir. Ön katman olarak kullanılan 2.00 mm kalınlığındaki alüminyum levhada, delinmesine rağmen bundan farklı bir hasar görülmesinin nedeni, polietilen destek katmanının arka yüzeydeki açılmayı engellemesidir.

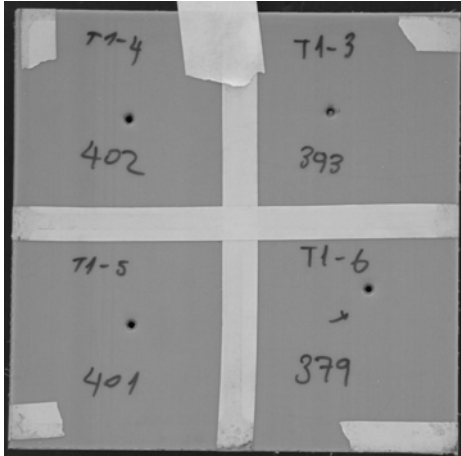
Son tasarımda, bu kez alüminyum levha ön katman olarak kullanılmış, polietilen levha ise destek katmanı olarak yapının arkasına yerleştirilmiştir.

8.00 mm kalınlığındaki polietilen destek katmanının alüminyum levhaların arkasına konduğu bu grupta yapılan 8 adet atışta, 391 m/s ile 401 m/s arasında mermi hızları ölçülmüştür. Bu atışlardan sonra, alüminyum ve polietilen katmanlara ait görüntüler Şekil 6 ve Şekil 7'de görülmektedir.

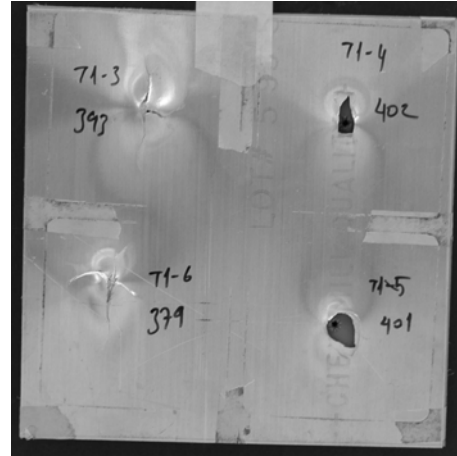
Yapılan atışların tamamında, merminin alüminyum levhayı deldikten sonra polietilen levha önünde durduğu ya da mermi hızına bağlı olarak alüminyum levha içinde kaldığı gözlenmiştir.

Merminin çarptığı noktada oluşan kırıkların, polietilen destek katmanı tarafından tutulmasının bu sonuca önemli bir katkısı olduğu anlaşılmaktadır. Tamamen delinmiş olan AA 7075 T651 levhalardaki ana hasar biçiminin, özellikle arka yüzeyde temas noktasından daha geniş bir bölgeye yayılmış olduğu gözlenen kırılma ve kopmalar, dolayısıyla levhanın delinme direncinin ortadan kalkması olduğu deney sonuçlarından anlaşılmaktadır. Bu parçaların ve beraberlerinde hareketine devam etmekte olan merminin destek katmanla karşılaşması, çarpmanın delinmeyle sonuçlanmasını engellemektedir.

Bu grupta yapılan atışlarda, test edilen tasarımın performansını belirlemek amacıyla, arka destek katmanı olarak kullanılan polietilen levhada

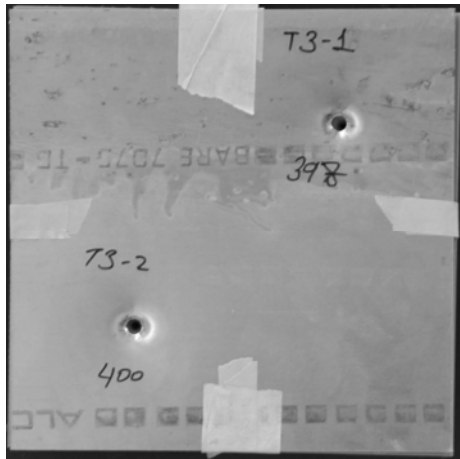


a)



b)

Şekil 4. PE-Al katmanlı yapıya yapılan atış sonuçları a) polietilen ön yüz, b) alüminyum arka yüz

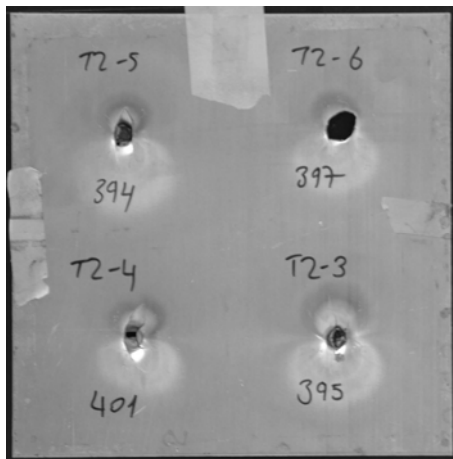


a)

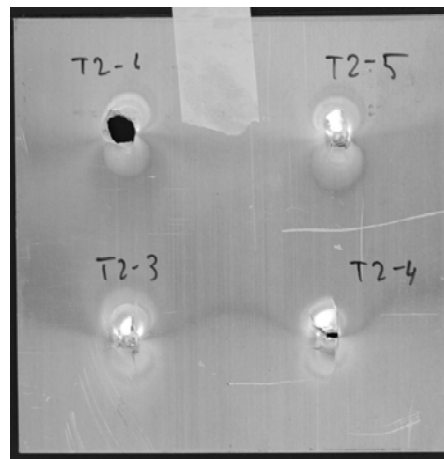


b)

Şekil 5. Al-PE-Al katmanlı yapıya yapılan atış sonuçları a) Al. ön yüz, b) Al. arka yüz

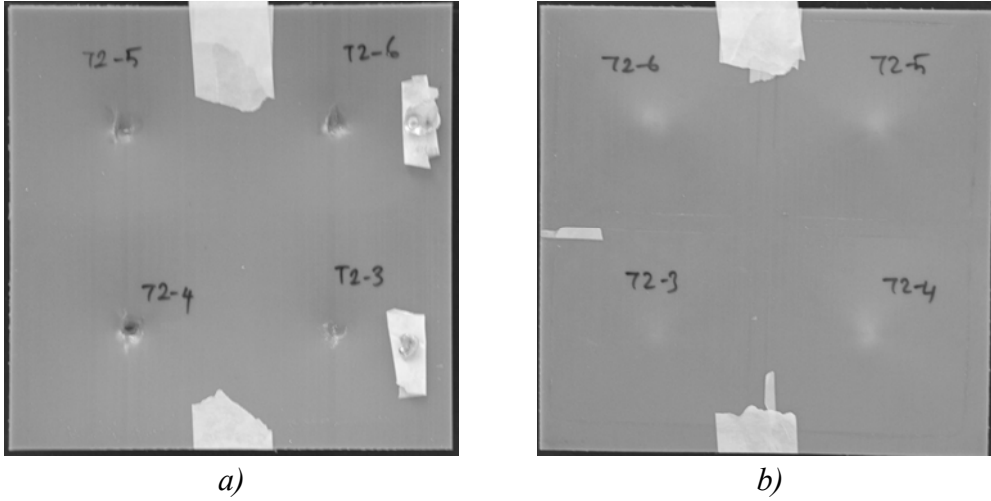


a)



b)

Şekil 6. Al-PE katmanlı yapıya yapılan atışlar sonunda alüminyum levha a) ön, b) arka



Şekil 7. Al-PE katmanlı yapıya yapılan atışlar sonunda polietilen levha a) ön, b) arka

çarpma yönündeki çökme ve arka yüzeydeki şişme miktarları 3D-CMM (3 boyutlu koordinat ölçüm cihazı) kullanılarak ölçülmüştür.

Ölçümler yapılırken, öncelikle tüm koordinatlar (x, y, z) için levha alt ve üst yüzeyleri ile yanlarından referans ölçüler alınmıştır. Daha sonra, oluşturulmuş olan bu referans düzleme göre cihazın uç kısmının bulunduğu noktanın koordinatları belirlenerek, her atış noktası için ölçüler elde edilmiştir. Ölçümlerde, çarpma yönüne göre merminin açtığı çukur ve arka yüzeyde oluşturduğu şişme miktarları tespit edilmiştir. Burada, arka yüzeydeki değerlerin, levhanın arka yüzeyine göre şişme miktarını gösterdiğini belirtmek gerekir.

Bu ölçümlere ait sonuçlar Tablo 2’de görülmektedir.

Tablo 2. Al-PE katmanlı yapıda atış sonuçları

| Test No | Mermi Hızı (m/s) | Al | Polietilen | |
|---------|------------------|---------|------------|------------|
| | | | Çökme (mm) | Şişme (mm) |
| 7 | 391 | delindi | 14.42 | 12.25 |
| 10 | 392 | | 14.92 | 12.26 |
| 9 | 393 | | 12.80 | 10.95 |
| 5 | 394 | | 16.84 | 13.80 |
| 3 | 395 | | 13.23 | 11.48 |
| 8 | 396 | | delindi | |
| 6 | 397 | | 17.04 | 13.97 |
| 4 | 401 | | 17.81 | 14.11 |

Bu sonuçların grafik olarak gösterimi ise Şekil 8’dedir. Mermi hızı arttıkça, çökme ve şişme değerleri artmaktadır. Burada, artan mermi hızıyla birlikte, çökme miktarındaki artışın, şişme miktarındaki artıştan daha fazla oluşu dikkat çekicidir. Bu fark, artan mermi hızlarında, polietilen destek katmanının kalınlığının azaldığını göstermektedir.

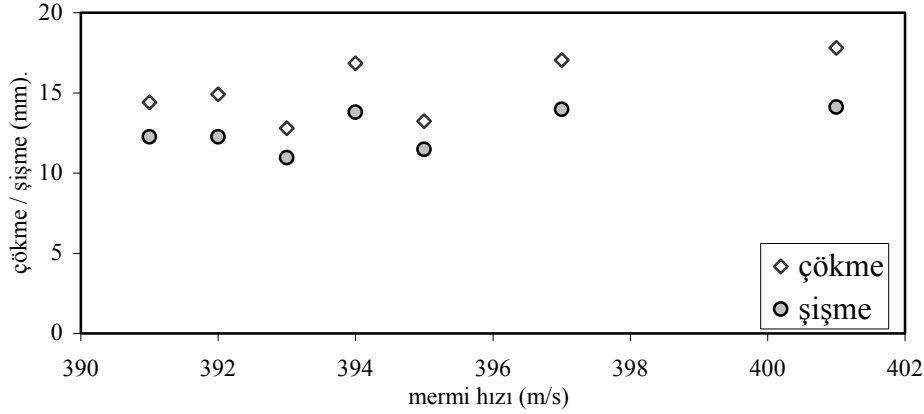
Sonuç

Tek ve çok katmanlı, yüksek mukavemetli metal ve kompozit levhaların kinetik enerjili mermilere karşı gösterdikleri balistik davranışın deneysel, kuramsal ve sayısal olarak incelenmesi, çeşitli araştırmalara konu olmuştur.

Bu çalışmada, yüksek molekül ağırlıklı polietilen levhalar kullanılarak desteklenmiş AA 7075 T651 levhaların balistik dayanımlarına katman sıralamasının etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Deneyler esnasında, üç farklı sıralama şekli kullanılmıştır.

Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde, deneysel üç tasarımın da toplam katman kalınlıkları eşit olduğu halde, destek katmanı olarak kullanılan polietilenin alüminyum levhaların arkalarına yerleştirildikleri seçeneğin, balistik dayanımı en yüksek tasarım olduğu görülmektedir.

Levha kalınlıklarının, yüksek hızlı çarpma sonucunda oluşan hasar biçimlerin yakından etkilediği belirlenmiştir. Kullanılan 4.00 mm kalın-



Şekil 8. Al-PE katmanlı yapıda polietilen levhada ölçülen çökme ve şişme değerleri

lığındaki alüminyum levhalarda kırılma ve kopmalar şeklinde gelişen hasar, 2.00 mm kalınlığındaki ince levhalarda yırtılma şeklindedir. İnce levhaların arka yüzeylerinde merminin levhayı terk ettiği bölümde yapraklanma (petalling) şeklinde bir hasar oluşumu gözlenmektedir.

Kaynaklar

- Candan, C., Akdemir, A. ve Şahin, Ö., (2005). Hafif silah tehdidine karşı UHMW-PE ve seramik zırhların balistik koruma performanslarının incelenmesi, *7. Uluslararası Kırılma Konferansı*, 891-900, Kocaeli.
- Gama, B. A., Bogetti, T. A., Fink, B. K., Yu, C., Claar, T. D., Eifert, H. H. ve Gillespie, J. W., (2001). Aluminium foam integral armor: a new dimension in armor design, *Composite Structures*, **52**, 381-395.
- Kim, M-S., Shin, H-S. ve Lee, H-C., (2003). The effects of back plate materials on perfect cone formation in impact-loaded soda-lime glass, *International Journal of Impact Engineering*, **28**, 281-290.
- Park, M., Yoo, J. ve Chung, D-T., (2006). An optimization of a multi-layered plate under ballistic impact, *International Journal of Solids and Structures*, **42**, 123-137.
- Übeyli, M., Ögel, B. ve Yıldırım, R. O., (2004). Katmanlama yapısının alümina-alüminyum katmanlı kompozitlerinin balistik davranımı üzerine etkisi, *Savunma Teknolojileri Kongresi*, 79-88, Ankara.
- Vural, M., (2000). Ballistic performance and impact behavior of alumina armor ceramics, *Doktora Tezi*, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Yossifon, G., Yarin, A. L. ve Rubin, M. B., (2002). Penetration of a rigid projectile into a multi-layered target: Theory and numerical computations, *International Journal of Engineering Science*, **40**, 1381-1401.
- Zukas, J. A. ve Scheffler, D. R., (2001). Impact effects in multilayered plates, *International Journal of Solids and Structures*, **38**, 3321-3328.